

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Baterai

Baterai (*Battery*) adalah sebuah sumber energi yang dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi listrik yang dapat digunakan seperti perangkat elektronik. Hampir semua perangkat elektronik yang portabel seperti handphone, laptop, dan maianan remote control menggunakan baterai sebagai sumber listriknya. Dengan adanya baterai, sehingga tidak perlu menyambungkan kabel listrik ke terminal untuk dapat mengaktifkan perangkat elektronik kita sehingga dapat dengan mudah dibawa kemana-mana. Setiap baterai terdiri dari terminal positif (*Katoda*) dan terminal negatif (*Anoda*) serta elektrolit yang berfungsi sebagai penghantar. Output arus listrik dari baterai adalah arus searah atau disebut juga dengan arus DC (*Direct Current*). Pada umumnya, baterai terdiri dari 2 jenis utama yakni baterai primer yang hanya dapat sekali pakai (*single use battery*) dan baterai sekunder yang dapat diisi ulang (*rechargeable battery*). Baterai yang dibahas pada proposal ini yang dapat diisi ulang dan biasa digunakan pada kendaraan listrik yaitu baterai Lithium ion dan Lithium Polymer.

2.1.1. Baterai Lithium Ion

Baterai Lithium-Ion mulai berkembang pada tahun 1912. Namun, baterai ini menjadi populer ketika Sony mengadopsinya pada tahun 1991. Baterai Li-ion merupakan baterai yang dapat dilepas (*removeable*). Baterai tipe ini sering kita lihat pada : laptop, tablet dan smartphone. Baterai Li-Ion ini merupakan istilah yang mengacu kepada materialnya saja, dimana yang sebenarnya ada banyak jenis Baterai Li-ion yang memiliki senyawa kimia yang berbeda.

Jenis-Jenis Baterai Li-Ion

Menurut sumber batteryuniversity.com, berdasarkan senyawa kimia yang digunakan dalam baterai Li-ion, maka baterai tersebut dibagi ke dalam 6 kelompok atau jenis, yaitu :

- Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia LiCoO_2 (Lithium Cobalt Oxide) atau disingkat dengan LCO.

- Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia Lithium Manganese Oxide (LiMn_2O_4) atau disingkat dengan LMO.
- Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (LiNiMnCoO_2) atau disingkat dengan NMC.
- Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia Lithium Iron Phosphate (LiFePO_4) atau disingkat dengan LFP.
- Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (LiNiCoAlO_2) atau disingkat dengan NCA.
- Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia Lithium Titanate ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) atau disingkat dengan LTO.

Keenam jenis baterai Li-Ion digunakan pada device yang berbeda-beda, dimana:

- LCO digunakan pada CellPhone, Laptop, Camera dsb.
- LMO digunakan pada ala-alat listrik (Power tools), Peralatan medis (Medical devices), Electric Powertrains.
- NMC sering digunakan pada E-bikes, Peralatan Medis, EVs, dan di industri-industri.
- LFP digunakan pada stasioner yang membutuhkan arus beban tinggi dan juga daya tahan tinggi.
- NCA digunakan pada Peralatan medis, Industri, Electric powertrain (Tesla).
- LTO digunakan pada UPS, electric powertrain dan penerangan jalan bertenaga surya.

Kelebihan Lithium-ion:

- Baterai ini umumnya bersifat removable, jadi baterai ini dapat dicopot dan digantikan dengan baterai baru jika suatu saat ini baterai tersebut cepat drop.
- Bentuk baterai ini persegi, dimana ukurannya agak sedikit tebal. Pada beberapa gadget ketebalannya berbeda, misal baterai Li-Ion pada Laptop akan lebih tebal dibandingkan dengan baterai Li-Ion Smartphone.
- Memiliki kepadatan energi yang tinggi.

- Mudah ditemukan di pasaran. Jika kita menggantikannya dengan baterai baru, akan lebih cenderung mudah ditemukan dan dari sisi harganya pun lebih terjangkau sekalipun harga tersebut adalah harga baterai orisinal.
- Baterai lebih kuat karena baterai lithium-ion hanya kehilangan 5% isinya setiap bulan.

Kekurangan Lithium-ion:

- Baterai cenderung agak berat.
- Pada kondisi temperatur tinggi, menyebabkan pemakaian baterai Li-ion akan cepat habis, kurang dari pemakaian normal kira-kira 3 tahun.
- Jika membutuhkan kapasitas Ah/kg yang besar, maka akan membutuhkan ukuran fisik yang lebih tebal dan besar.
- Memiliki resiko ledakan lebih tinggi jika berada dalam temperatur panas yang terus menerus.

2.1.2. Baterai Lithium Polymer

Baterai Li-Po merupakan singkatan dari Lithium Polymer. Jenis baterai ini sudah dikembangkan sejak tahun 1970an. Hasil desain dari baterai Li-Po lebih tipis, sehingga bisa didesain berbentuk seperti *handphone slim*, tetapi tetap memiliki daya tahan baterai yang lebih baik daripada baterai Li-ion. Li-Po ukurannya yang tipis, sehingga akan menghasilkan berat yang cukup ringan. Sehingga dalam proses pembuatannya, akan membuat biaya produksi yang lebih tinggi.

Kelebihan Baterai Li-Po

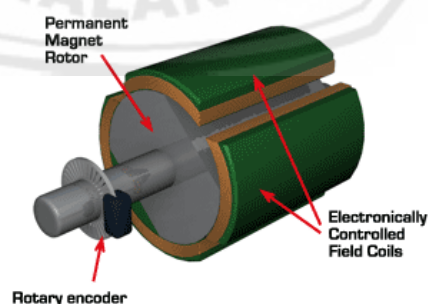
- Baterai Li-Po memiliki berat atau bobot yang sangat ringan dibandingkan baterai Li-Ion.
- Baterai Li-Po tersedia dalam berbagai macam bentuk dan ukuran.
- Baterai Li-Po dirancang untuk pemakaian yang lebih lama dropnya dibandingkan Li-Ion, karena sifat baterai ini non-removeable, tidak dapat dicopot atau ditukar dengan baterai lain.
- Baterai ini memiliki tingkat keamanan yang lebih baik pada kondisi temperatur tinggi. Sehingga peluang resiko ledakan lebih kecil terjadi.

Kekurangan Baterai Li-Po

- Umumnya baterai ini bersifat non-removeable, yang artinya tidak dapat dicabut baterainya (menyatu dengan smartphone). Jadi ketika kondisi drop, maka akan membutuhkan effort besar bagaimana menyiasatinya agar dapat berjalan normal kembali.
- Pada baterai Li-Po, kepadatan energi yang lebih rendah.
- Biaya produksi baterai lebih mahal, sehingga gadget yang menggunakan baterai ini akan dibanderol dengan harga yang cenderung lebih mahal dibandingkan dengan gadget sejenis yang menggunakan baterai Li-ion.

2.2. Motor BLDC

BLDC Motor tergolong ke dalam jenis motor sinkron. Artinya medan magnet ditimbulkan dari stator dan medan magnet yang ditimbulkan oleh rotor berputar pada frekuensi yang konstan. Motor BLDC tidak mengalami slip saat berputar karena menggunakan magnet seperti yang terjadi pada motor induksi biasanya. Motor jenis ini mempunyai magnet permanen yang terletak pada bagian rotor dan elektromagnet yang letaknya di stator. Setelah itu, dengan menggunakan sebuah sistem rangkaian (*controller*), maka dapat merubah arus di elektromagnet ketika bagian rotornya berputar. Bagian dari motor BLDC ditunjukkan pada gambar 2.1, motor BLDC 250 watt ditunjukkan pada gambar 2.2 dan spesifikasi motor BLDC ditunjukkan pada tabel 2.1.



Gambar 2.1. Bagian motor BLDC.

Tabel 2.1 Spesifikasi Motor BLDC

Model	L-HO4-A
Voltage	48 Volt

Output	250 Watt
Max Speed	285-300 Rpm
Rated Efficiency	$\geq 78\%$
Net weight	3 Kg



Gambar 2.2. Motor BLDC 250Watt.

2.3. Sistem Kerja Baterai Termal

Dikarenakan karakteristik pada *charge-discharge* baterai berbeda dan temperatur yang berbeda maka suhu baterai akan mempengaruhi siklus daya tahan baterai, dan karena itu suhu baterai perlu dideteksi dan dikendalikan. Dalam daya tinggi dan kondisi suhu yg tinggi, kerja termal dari baterai listrik sangat penting. Dalam sistem kerja baterai termal , pendinginan baterai telah banyak diteliti. Namun, pada suhu rendah, penyimpanan energi baterai akan berkurang, dan karena itu, pemanasan baterai juga telah dipelajari untuk suhu rendah untuk melindungi keamanan baterai di lingkungan suhu rendah.

Singkatnya, tujuan dari kerja baterai termal adalah untuk menjaga suhu setiap sel konsisten dan dikontrol dalam kisaran yang tepat; sehingga setiap sel memiliki substansial karakteristik charge-discharge yang sama, sehingga dapat secara efektif dalam penggunaan baterai, memperpanjang siklus daya tahan dari baterai.

2.4. Keseimbangan Sel

Pada kendaraan listrik, sel-sel dipasang secara paralel untuk membentuk penghalang untuk kepuasan sebuah ketentuan dari kapasitas yang tinggi sementara beberapa penghalang (sel-sel) dihubungkan secara seri untuk memberikan sebuah voltase yang tinggi [4]. Setiap sel jelas karena memproduksi

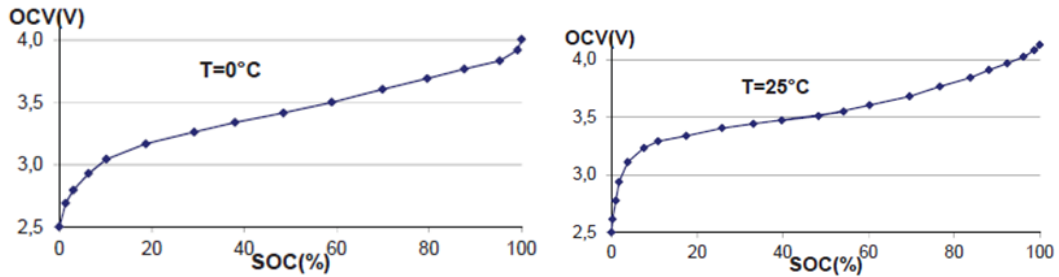
dan kelebihan kimia. Demikian, sel-sel dalam susunan seri memiliki arus yang sama tetapi beda voltase. Selama pengisian daya, habisnya kapasitas dalam sel bisa membahayakan apabila sel datang untuk secara mudah penuhnya pengisian daya. Dengan kata lain, hal ini akan merusak dari kelebihan beban sementara semua sisa dari sel mencapai pengisian daya yang penuh. Dengan cara yang sama, kelebihan pemberhentian pengisian daya mungkin terjadi pada sel yang paling lemah, yang akan gagal sebelum yang lain selama proses pemberhentian pengisian daya. Ketika baterai terdiri dari multisel dalam seri, itu akan mengarah ke tingkatan kegagalan tinggi daripada sel tunggal karena hubungan seri. Untuk mengurangi efek ini untuk memperpanjang nyala baterai, mekanisme keseimbangan sel yang efektif yang dapat menjaga level SOC dari sel tunggal pada rangkaian baterai sedekat yang lain, harus dikembangkan.

Metode yang tendensi dari keseimbangan sel dapat dipisah kedalam 2 jenis: dissipative dan non-dissipative. Baik kedua metode didedikasikan untuk mengurangi ataupun menghilangkan ketidakseimbangan voltase sel [2]. Bagaimanapun, penyamaan dissipative digunakan oleh resistor mempermudah menghilangnya kelebihan energy atau arus terhadap panas dengan efesiensi yang rendah. Penyamaan non-dissipative biasanya diterapkan oleh trafo, inductor atau kapasitor [1,12]. Mereka dipertimbangkan lebih efisien daripada penyamaan dissipative. Bagaimanapun, pertukaran beban atau energy antara sel-sel membuat profil charge-discharge lebih rumit daripada profil konvensional. Teknik keseimbangan ini tergantung pada penentuan SOC dari setiap sel tunggal didalam baterai.

2.5. State of Charge (SOC)

SOC adalah sisa kapasitas baterai yang dinyatakan dalam persentase dan dipengaruhi oleh suhu, ketahanan baterai dan kecepatan pengaliran. SOC dari sebuah baterai didefinisikan pada [1,12,5,6,7,8,9,10] yang dinyatakan dalam persamaan (2.1), sebagai rasio antara sisa pengisian yang tersedia $Q(t)$ dan kapasitas nominal Q_{nom} , yang diberikan oleh pabrikan. Ketergantungan OCV pada SOC pada suhu yang berbeda ditunjukkan pada gambar 2.3

$$SOC(t) = \frac{Q(t)}{Q_{nom}} \quad (2.1)$$



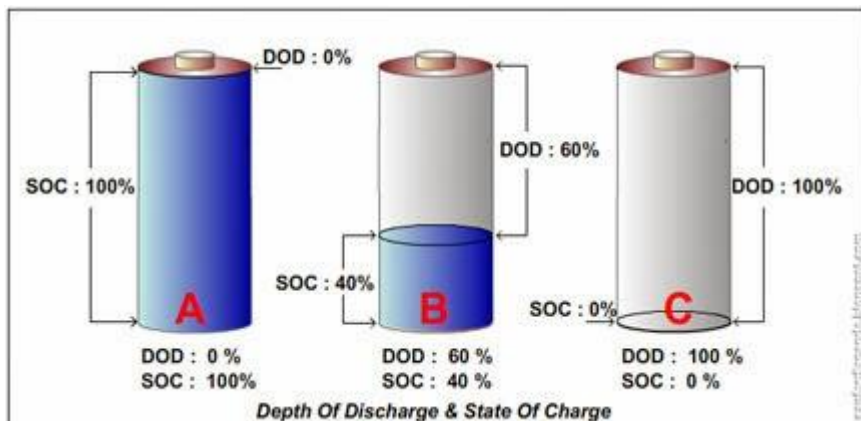
Gambar 2.3. Ketergantungan OCV pada SOC pada suhu yang berbeda.

Perkiraan SOC adalah hal yang mendasar untuk pengelolaan dari sebuah baterai. Dua metode yang biasanya digunakan: metode OCV dan metode penghitungan Coulomb. Kedua metode tersebut telah diterapkan pada model SistemC.

Metode OVC [8,10] didasarkan pada penghitungan antara OCV dan SOC. Kurva pengisian tegangan adalah non-linear dan bervariasi berdasarkan baterai yang spesifik, dengan kondisi operasi, seperti ketahanan baterai, suhu, dll. Pencarian tabel baterai telah diambil dari kumpulan data Panasonic CGR-18650DA dan hasilnya ditunjukkan di gambar 2.3.

Metode penghitungan Coulomb [5,6,7,9] mengukur pengaliran arus dan terintegrasi dari waktu ke waktu. Jumlah ini harus dikurangi dengan kapasitas baterai yang sebelumnya, sehingga didapatkan pengisian sisa, dirumuskan pada persamaan (2.2) dan proses SOC dari 100%-0% ditunjukkan pada gambar 2.4.

$$SOC(t) = SOC(t_0) - \int_{t_0}^t \frac{I(t)}{Q_{nom}} dt \quad (2.2)$$



Gambar 2.4. Proses SOC dari 100%-0%.

DOD (Depth of Discharge) adalah nilai pada baterai yang diambil dari tegangan yang telah digunakan, dihitung juga dalam bentuk persen sama halnya dengan SOC. DOD tersebut merupakan kebalikan dari SOC yaitu sisa tegangan pada baterai, untuk menghitung SOC dan DOD pada baterai dapat menggunakan persamaan (2.3) dan persamaan (2.4) sebagai berikut:

$$\text{SOC} = \frac{V(\text{saat ini}) - V(\text{min})}{X_i} \times 100\% \quad (2.3)$$

$$\text{DOD} = \frac{V(\text{max}) - V(\text{saat ini})}{X_i} \times 100\% \quad (2.4)$$

2.6. Mikrokontroler Atmega

Mikrokontroler terdiri dari bagian CPU (*Central Processing Unit*), memori, I/O dan unit pendukung seperti ADC (*Analog-to-Digital Converter*) yang sudah menjadi satu di dalamnya dengan memiliki fungsi masing-masing. Mikrokontroler berbentuk sebuah chip IC yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian dan umunya dapat menyimpan program di IC chip tersebut. Kelebihan utama dari mikrokontroler ialah tersedianya RAM dan peralatan I/O pendukung.

Pada pengerjaan tugas akhir ini mikrokontroler yang diajukan menggunakan AVR ATmega 328 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- 130 macam instruksi yang hampir semuanya dieksekusi dalam satu siklus clock.
- 32x8-bit register serba guna.
- Kecepatan mencapai 16 MIPS dengan clock 16 MHz.
- 32 KB Flash memory dan pada arduino memiliki bootloader yang menggunakan 2 KB dari flash memori sebagai bootloader.
- Memiliki EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) sebesar 1 KB sebagai tempat penyimpanan data semi permanent karena EEPROM tetap dapat menyimpan data meskipun catu daya dimatikan.
- Memiliki SRAM (*Static Random Acces Memory*) sebesar 2 KB
- Memiliki I/O digital sebanyak 14 pin 6 diantaranya PWM (*Pulse Width Modulation*) Ouput.

- Master/ Slave SPI interface.

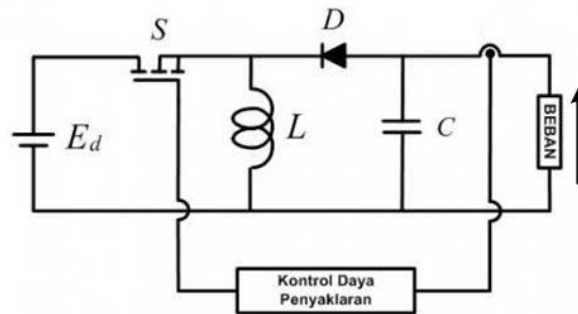
	(PCINT14/RESET) PC8	1	28	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)	AIN5
RX - D0	(PCINT16/RXD) PD0	2	27	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)	AIN4
TX - D1	(PCINT17/TXD) PD1	3	26	PC3 (ADC3/PCINT11)	AIN3
D2	(PCINT18/INT0) PD2	4	25	PC2 (ADC2/PCINT10)	AIN2
PWM3	(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5	24	PC1 (ADC1/PCINT9)	AIN1
D4	(PCINT20/XCK/T0) PD4	6	23	PC0 (ADC0/PCINT8)	AIN0
	VCC	7	22	GND	
	GND	8	21	AREF	
	(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	AVCC	
	(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	19	PB5 (SCK/PCINT5)	D13
PWM5	(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11	18	PB4 (MISO/PCINT4)	D12
PWM6	(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12	17	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)	PWM11
D7	(PCINT23/AIN1) PD7	13	16	PB2 (SS/OC1B/PCINT2)	PWM10
D8	(PCINT0/CLK0/CP1) PB0	14	15	PB1 (OC1A/PCINT1)	PWM9

Gambar 2.5. Datasheet ATmega 328.

Mikrokontroler ATmega 328 pada gambar 2.5 memiliki instruksi-instruksi dalam program yang dieksekusi dalam satu alur, dimana pada saat satu instruksi dikerjakan instruksi berikutnya sudah diambil dari memori program dan memiliki arsitektur Harvard, yaitu memisahkan memori pada kode program dan memori data sehingga dapat memaksimalkan kerja dan *parallelism*. Konsep inilah yang memungkinkan beberapa instruksi dapat dilakukan dalam setiap satu siklus. 32x8-bit register digunakan untuk mendukung operasi pada ALU (*Arithmetic Logic Unit*) yang dilakukan dalam satu siklus. Beberapa register ini digunakan dengan fungsi khusus antara lain sebagai register control Timer/ Counter. Interupsi USART, ADC, EEPROM, SPI dan fungsi I/O lainnya.

2.7. DC to DC Converter

Dc to Dc converter merupakan rangkaian elektronika power untuk mengubah suatu masukan tegangan DC menjadi tegangan DC keluaran dengan nilai yang lebih besar atau kecil dari tegangan masukan. Dasar dari *switching power supply* terdiri dari tiga topologi yaitu *buck (step-down)*, *boost (step-up)* dan *buckboost (step-up/down)*. Pada alat BMS ini rangkaian Dc to Dc converter yang digunakan jenis *buck (step down)* yang memiliki fungsi untuk mengubah level tegangan DC ke level yang lebih rendah (*buck converter*). *Buck converter* ini akan diaplikasikan untuk beban bell dan beban modul TP4056. Buck converter di tunjukkan pada gambar 2.6. (Muhammad Harunur Rashid, 2013)



Gambar 2.6 Buck converter.

2.8. *Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)*

IGBT adalah komponen semikonduktor dengan terminal utama yang banyak dipergunakan sebagai switch yang mengkombinasikan kecepatan switching efisiensi tinggi. IGBT tersebut merupakan transistor yang dirancang dengan impedansi tinggi, sehingga tidak membebani rangkaian control terutama pada bagian driver. IXFH 50N60 ditunjukkan pada gambar 2.7. (Prima Radiansyah, 2012)



Gambar 2.7. IXFH 50N60.

Adapun beberapa parameter penting yang dapat digunakan untuk menentukan penggunaan IGBT adalah :

1. *Drain-source voltage (V_{ds})*

Nilai tegangan maksimum yang akan mengkondisikan bahan substrat yang ada diantara *drain* dan *source* agar terus dapat mengalir.

2. *Countinuous direct drain current (I_d)*

Nilai arus maksimum yang dapat dilewati oleh *drain*.

3. *Gate-source voltage (V_{gs})*

Nilai tegangan yang lebih besar dari nilai konduksi (V_t) agar IGBT pada kondisi on dan dapat mengalir arus.

4. *Total power dissipation (P_{tot} or P_d)*

Nilai maksimum disipasi daya untuk komponen tersebut.

Prinsip kerja IGBT sebagai transistor yang memiliki perpaduan antara mosfet dan transistor bipolar tentu akan memberikan kinerja komponen yang lebih baik. Namun tahanan dan kemampuan rangkaian juga akan terpengaruh akan terpengaruh oleh jenis IGBT yang digunakan. Pada dasarnya fungsi IGBT dapat dibagi menjadi dua, yaitu sebagai saklar dan sebagai penguat arus. Sebagai saklar, IGBT dapat mengalirkan arus jika diberi tegangan gerbang-sumber (V_{gs}) yang lebih besar dari tegangan konduksi (V_t). Saat $V_{gs} < V_t$ maka IGBT off, saat $V_{gs} > V_t$ maka IGBT on. Dengan kecepatan *switching* sangat tinggi dalam orde nano detik.

2.9. Sensor Suhu IC LM35

Sensor suhu yang digunakan pada alat BMS ini menggunakan jenis IC LM35 adalah komponen yang memiliki fungsi untuk mengukur suhu pada baterai, bentuk fisik sensor suhu LM35 ditunjukkan pada gambar 2.8.

Berikut spesifikasi dari sensor suhu IC LM35 sebagai berikut:

- Memiliki sensitivitas suhu, dengan faktor skala linier antara tegangan dan suhu 10 mV/°C, sehingga dapat dikalibrasi langsung dalam celcius.
- Memiliki ketepatan atau akurasi kalibrasi yaitu 0,5 °C pada suhu 25 °C .
- Memiliki jangkauan maksimal operasi suhu antara -55 °C sampai +150 °C.
- Bekerja pada tegangan 4 sampai 30 volt.
- Memiliki arus rendah yaitu kurang dari 60 μ A.
- Memiliki pemanasan sendiri yang rendah (low-heating) yaitu kurang dari 0,1 °C pada udara diam.
- Memiliki impedansi keluaran yang rendah yaitu 0,1 W untuk beban 1 mA.
- Memiliki ketidaklinieran hanya sekitar $\pm 1/4$ °C



Gambar 2.8. Bentuk Fisik Sensor Suhu LM35.

2.10. Sensor Arus ACS712

Sensor arus yang digunakan pada alat BMS ini menggunakan jenis IC ACS 712ELCTR-30A-T adalah komponen yang memiliki fungsi untuk mengukur arus listrik AC maupun DC, data keluaran dari sensor ini berupa signal analog yang kemudian dikirim ke mikrokontroller. ACS 712ELCTR-30A-T ditunjukkan pada gambar 2.9, Jenis dan karakteristik sensor arus ACS712 ditunjukkan pada tabel 2.2, dan grafik tegangan keluaran sensor ACS712 terhadap arus listrik ditunjukkan pada gambar 2.10.

Berikut spesifikasi dari sensor arus sebagai berikut:

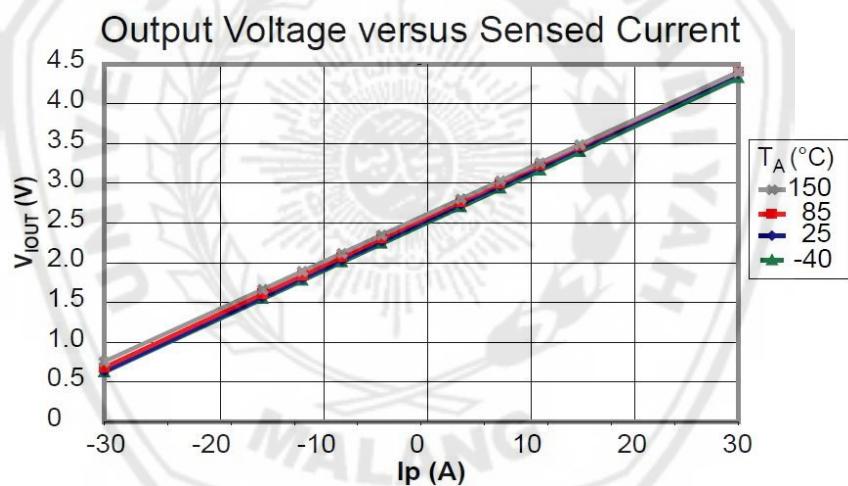
- Memiliki sinyal analog dengan sinyal-gangguan rendah (*low-noise*).
- Ber-*bandwidth* 50 kHz.
- Total output error 1.5% pada $T_a = 25^\circ\text{C}$, dan 4% pada -40°C sampai 85°C .
- Memiliki resistansi dalam $1.2\text{ m}\Omega$.
- Tegangan sumber operasi tunggal 5.0 V.
- Sensitivitas keluaran 66 sd 185 mV/A .
- Tegangan keluaran proporsional terhadap arus AC ataupun DC.
- Fabrikasi kalibrasi.
- Tegangan *offset* keluaran yang sangat stabil.
- Histeresis magnetic hampir mendekati nol.
- Rasio keluaran sesuai tegangan sumber.



Gambar 2.9. ACS 712ELCTR-30A-T.

Tabel 2.2 Jenis dan karakteristik sensor arus ACS712

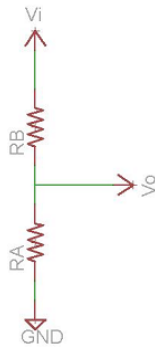
Part Number	Ta(°C)	Jangkauan (A)	Sensitivitas (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	-40 s/d +85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	-40 s/d +85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	-40 s/d +85	±30	66



Gambar 2.10. Grafik tegangan keluaran sensor ACS712 terhadap arus listrik.

2.11. Sensor Tegangan

Untuk mengetahui tegangan keluaran dari baterai dari semua sel diperlukan sensor tegangan berupa rangkaian pembagi tegangan seperti gambar dibawah ini. Rangkaian pembagi tegangan ditunjukkan pada gambar 2.11 (*Dasar teknik elektro rangkaian listrik 1, 2011*)



Gambar 2.11. Rangkaian pembagi tegangan.

Tegangan keluaran dari sensor pembagi tegangan dimasukkan kedalam mikrokontroler yang mempunyai tegangan maksimal 5VDC. Dengan menggunakan persamaan (2.5) rumus sebagai berikut:

$$V_0 = V_i \left(\frac{R_a}{R_a + R_b} \right) \quad (2.5)$$